心理学报 2018, Vol. 50, No.2, 143−157
Acta Psychologica Sinica
DOI: 10.3724/SP.J.1041.2018.00143

物体拓扑性质对背景线索效应的影响及其加工机制*

马 捷[1] 窦皓然[1] 庄 茜[1] 尹冬雪[1] 雷 明[1]
高 超[2] 张 引[1] 刘 强[1] 赵 光[1]
([1]辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心，大连 116029) ([2]江汉大学教育学院，武汉 430056)

摘 要 背景线索效应是指在视觉搜索中由于场景的重复曝光而产生的行为便利。而以往研究关注于刺激的欧式性质所代表的属性信息对背景线索效应的影响，然而在视知觉加工过程中扮演重要角色的拓扑性质对背景线索效应的影响仍缺乏相关实证研究。因此，研究采用视觉搜索任务，通过操控不同场景中刺激的拓扑性质或欧式性质的变化，考察拓扑性质与欧式性质两种属性信息对背景线索效应的调制。结果发现：(1)拓扑性质和欧式性质与目标之间的联结关系均可促进行为反应，获得背景线索效应；(2)视觉学习机制对拓扑性质的重复性更加敏感，并且拓扑性质与目标之间联结关系的稳定性相对于欧式性质与目标之间的联结关系稳定性对于背景线索效应的获得具有更为重要的意义。

关键词 背景线索效应；拓扑性质；欧式性质；拓扑知觉理论
分类号 B842

1 引言

人类的视觉系统具有强大的功能，每时每刻都在接收场景中所包含的大量信息，尽管场景中蕴含着大量的无效信息，但仍有部分信息不随时间变化成为识别场景的规律性信息。这些规律性信息作为一种有效的视觉编码获得加工并指导随后有关的知觉加工和行为反应。当场景中的规律性信息保持不变时，这种重复的规律性信息可作为视觉背景引导注意更快、更有效地指向目标位置，这种现象称之为“背景线索效应”。Chun 和 Jiang (1998)通过视觉搜索任务将这种现象从现实生活引入实验室研究，自此，背景线索效应被大量研究详细的阐释(Beesley & Shanks, 2012; Chun & Jiang, 1999, 2003; Conci & von Mühlenen, 2011; Jiménez & Vázquez, 2011; Kunar & Wolfe, 2011; Makovski, 2016; Manginelli, Langer, Klose, & Pollmann, 2013)。研究认为当物体与场景之间联结关系相对稳定时，这种联结关系会促进人们对物体的识别速度，并且在注意、学习、记忆等方面存在重要的加工基础(Chun & Jiang, 1998, 1999; Endo & Takeda, 2005; Travis, Mattingley, & Dux, 2013)。研究者们发现背景线索效应是种普遍存在的现象，不仅贯穿人类的整个生命发展(Merrill, Conners, Roskos, Klinger, & Klinger, 2013)，并且与个体的智力水平无关(Merrill, Conners, Yang, & Weathington, 2014)，甚至动物也可观测到稳定的背景线索效应(Brooks, Dai, & Sheinberg, 2011; Goujon & Fagot, 2013; Wasserman, Teng, & Castro, 2014)，因此它是研究视觉学习的优秀工具(Goujon, Didierjean, & Thorpe, 2015)。

在背景线索效应的经典研究范式中，要求被试尽可能又快又准的找出嵌于多个分心物体(不同朝

收稿日期: 2016-08-31
* 国家自然科学基金(NSFC:31400870)项目资助。
马捷和窦皓然为共同第一作者。
通信作者: 赵光, E-mail: zhaoguang721@163.com

向的 L)中的目标物(左右朝向的 T)并判断其朝向。实验中一组场景保持分心物与目标之间的空间布局(位置)不变并在 block 间进行重复，称为重复场景；另一组场景中分心物与目标之间的空间布局在 block 间随机变化作为对照组，称为新异场景。结果显示被试在重复场景中的反应相对于新异场景中的反应更快，表明被试对重复场景进行了编码、学习，并加以利用来促进对目标的搜索，从而产生背景线索效应。研究者们发现背景线索效应是一种强大的学习机制，只需大约重复出现 5 次或在奖励条件下重复两次即可产生(Tseng & Lleras, 2013)。而对重复场景的学习是通过内隐学习的方式(Chun & Jiang, 1998)，且对重复场景的学习效果可以保持一周(Chun & Jiang, 2003; Goujon & Fagot, 2013; Zellin, von Mühlenen, Müller, & Conci, 2014)。

以往对背景线索效应的研究大多关注于目标位置与分心物位置所构成的空间布局在背景线索效应中的作用。研究者认为目标物与空间布局之间的联结关系是引导注意更快的指向目标位置的有效线索 (Chun & Jiang, 1998; Kunar, John, & Sweetman, 2014)。背景线索效应对重复场景具有强大的学习和保持能力，同时可弥补视觉注意和工作记忆的局限(Jiang, Song, & Rigas, 2005)。Jiang 和 Chun (2001)和 Olson 和 Chun (2002)通过仅保持重复场景中一半刺激的位置不变，而对另一半刺激的位置进行随机变化，发现场景中部分空间布局保持不变即可获得完整的背景线索效应，同样表明了背景线索效应强大的学习能力。

除了空间布局关系以外还有其他信息蕴含在视觉场景中，比如物体的属性信息(形状、颜色、大小等)。而刺激属性之间的联结关系也可作为视觉场景中的一种背景信息，具有和空间布局相似的作用，可被视觉学习机制编码、存储，并被利用从而促进对目标物的加工，比如电脑、鼠标和键盘之间形成了稳定的联结关系，当在某个场景中知觉到电脑和鼠标的存在，可能会加快对键盘的加工。Chun 和 Jiang (1999)首次证明了在不依赖空间布局的情况下，仅利用目标形状与分心物形状之间的联结关系便能促进对目标的搜索，进而产生背景线索效应，即背景线索效应可由目标的属性特征与分心物属性信息之间的联结关系产生。在他们的研究中，重复场景和新异场景中目标和分心物的位置在每个 trail 开始前均进行随机选择以此排除空间布局的影响，但同时在重复场景中目标物形状与分心物的形状均保持不变而在新异场景中分心物的形状是随机选择的；并且结果显示重复场景的反应时显著快于新异场景的反应时，说明被试习得了目标形状与分心物形状之间的联结关系，并利用这种属性联结关系来促进行为表现。这种物体形状之间的共变关系诱发产生背景线索效应被其他研究所证实(van Asselen, Sampaio, Pina, & Castelo-Branco, 2011; Endo & Takeda, 2004)。

物体的形状特征作为几何性质中的一种典型特征被引入到关于背景线索效应中物体属性共变关系的加工机制的研究中(van Asselen et al., 2011; Chun & Jiang, 1999; Endo & Takeda, 2004; Goujon, Brockmole, & Ehinger, 2012)，但形状(欧式性质)仅仅是几何性质中的一种，Klein's Erlangen 纲领根据稳定性水平将几何性质分为欧式性质、仿射性质、射影性质和拓扑性质。其中，最为稳定的拓扑性质在视知觉加工中具有重要作用。根据陈霖的拓扑知觉理论，拓扑性质发生在视知觉早期阶段(Chen, 1982)。人类对于拓扑性质的加工会优先于对其他几何性质(投射几何、射影几何、欧式几何)的加工(Chen, 1982; Chen, 2005)。有研究提出，视知觉对拓扑性质的差异相对于其他几何性质的差异更加敏感(Hellige & Sergent, 1986; Rubin & Kanwisher, 1985)。例如，在 5 ms 的阈下条件中呈现一对图形，要求被试判断图形是否具有差异，发现被试判断具有拓扑性质差异图形的准确率显著高于不具有拓扑性质差异的图形的准确率，说明被试对拓扑性质的差异更敏感，且视知觉对拓扑性质的加工会更早发生。此后，Chen (1986)利用分别具有欧式性质、射影性质、投射性质和拓扑性质差异的阵列，要求被试判断阵列中哪个象限与其他象限不同，实验结果表明反应时与 Klein's Erlangen 纲领划分的具有层级关系的几何属性之间高度相关，即具有拓扑性质差异阵列的反应时最短，反应时随几何性质稳定性的下降而增加，具有欧式性质差异阵列的反应时最长。该实验同样证明了视知觉对拓扑性质的差异更为敏感。

以往关于物体属性对背景线索效应影响的研究大多使用欧式性质作为实验材料，但研究物体属性对背景线索效应的影响不应局限于仅使用欧式性质。重复的欧式性质可获得反应时的便利产生背景线索效应，那么在视知觉加工中相对于欧式性质更为敏感的拓扑性质是否也可获得反应上的便利产生背景线索效应？本研究引入“洞的数量”这一

典型拓扑性质来考察拓扑性质是否同样能产生背景线索效应，同时将重复的拓扑性质和欧式性质所产生背景线索效应进行对比，以此探讨拓扑性质与欧式性质在背景线索效应中加工机制上的差异。

2　实验 1：利用经典背景线索范式证明物体拓扑性质提供场景搜索便利

2.1　方法

2.1.1　被试

本研究中共有 23 名被试参与实验，所有被试均为自愿且有偿参加实验的辽宁师范大学在读本科生，其中男性 12 名，女性 11 名，年龄在 17~28 岁之间，平均年龄为 20.88 岁。23 名被试的视力或矫正视力正常，且均为右利手。其中 1 名被试的正确率低于 90%，明显低于总体错误率平均值将其剔除。最终 22 名被试作为有效数据进行统计分析。所有被试均没有参加过类似实验并且不清楚实验目的。

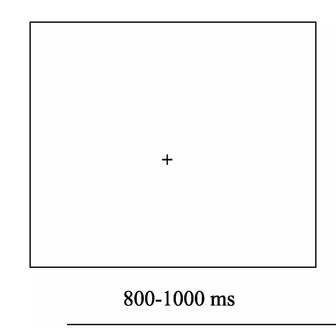
2.1.2　实验材料与仪器

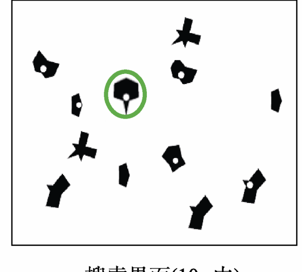
正式实验通过 E-prime 2.0 呈现刺激并记录被试的行为数据，刺激呈现在 19 英寸彩色显示器上，屏幕分辨率为 1024×768 pixels，刷新频率为 60 Hz。在整个实验过程中保持被试眼睛与屏幕之间的距离为 70 cm。

实验材料通过 Matlab 生成 1000 张垂直轴对称的八边形或十二边形各 500 个，每张对称图形所成视角为 2.14°×2.14°，其中多边形的边长在 4 种条件(0.16°, 0.32°, 0.48°, 0.64°)中随机选择。为便于拓扑性质与欧式性质的比较，实验材料中引入“洞的数量”这一拓扑性质中的典型性质，实验材料中有“洞”图形与无“洞”图形各 500 个。在预实验之前对刺激材料进行筛选，排除视觉特征过于显著的图形以及“洞”出现缺口的图形，最终选取 272 个图形(有“洞”和无“洞”的图形各 136 个)作为最终实验材料。有“洞”和无“洞”两组图形中各随机选取 36 个垂直轴对称图形作为目标物，剩余图形作为分心物分为 5 组，每组 20 张图片，分别以垂直轴为基线顺时针旋转 30°、60°、90°、120°和 150°。搜索场景由 12 个刺激组成，包括 11 个分心物和 1 个垂直轴对称的目标物，其中有“洞”和无“洞”图形各 6 个(如图 1 中搜索界面所示)。实验刺激出现在一个 6×8 的矩阵方格中(被试无法看见矩阵边界)，矩阵所成视角为 17°×12.79°。本研究为了排除场景中包含外显的组织信息例如刺激之间共线性的影响，并对每个刺激的位置进行了水平或垂直方向的轻微的(±0.11°)位移(Jiang, Olson, & Chun, 2000; Kawahara, 2007)。

2.1.3　实验设计与程序

实验 1 为 4(场景条件)×7(时间段)的被试内设计。场景条件分为完全重复场景、拓扑重复场景、欧式重复场景、新异场景 4 种场景条件。其中完全重复场景指目标物与分心物的位置及其属性在 block 间均保持不变；拓扑重复场景是指在 block 间保持目标物和分心物的位置以及分心物的拓扑性质(有“洞”或无“洞”)不变，而对分心物的欧式性质(图形形状)随机变化；欧式重复场景是指每种布局中的目标物和分心物出现的位置以及分心物的欧式性质(图片形状)始终保持不变，但在 block 间对分心物的拓扑性质(有“洞”或无“洞”)随机变化；新异场景为每个 trail 所使用的布局和分心物的属性都是随机产生的(如图 2 所示)。本研究将新异场景和完全重复场景同时作为对照组，将拓扑重复场景和欧式重复场景分别与这两组对照组进行比较，因新异场景中刺激的拓扑性质和欧式性质均在 block 间变化即场景中不包含任何重复信息，与其相比可知拓扑性质重复时和欧式性质重复时所带来的行





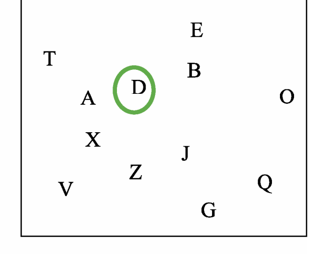


图 1　实验 1 流程图。当呈现搜索界面时，要求被试搜索垂直轴对称的目标(即图中绿色圆圈包围的图形，绿色圆圈在实验中并不可见)，搜索到目标后按空格键进行反应，搜索界面被反应界面所替代，被试需用鼠标点击原搜索界面中目标出现位置上的字母(即图中绿色圆圈所包围的字母“D”，绿色圆圈在实验中并不可见)。

为便利量；而与完全重复场景相比可知在拓扑重复场景和欧式重复场景中分别缺失欧式性质和拓扑性质提供的便利对反应时数据的影响。为排除目标属性以及位置等因素的干扰，保持每种场景中目标物的位置和属性(拓扑性质、欧式性质)一致，并将12 个刺激(1 个目标+11 个分心物)平均分配到 4 个象限中，同时保证每个象限中包含 3 个项目且 12个刺激始终保持 6 个刺激为有“洞”，6 个刺激为无“洞”。除新异场景以外的 3 种重复场景各包含 6 种固定布局，并在 block 间进行重复。同时，在 4 种场景中使用相互独立的目标位置且每个目标位置的重复次数和目标的形状是相同的，因此被试无法通过场景中目标出现的位置或形状对下一个场景(trial)中的目标位置或形状进行预测，可排除目标位置/形状出现的概率效应，那么不同场景之间的行为表现差异就可归因于场景中所蕴含的背景信息之间的差异。第二个因素为时间段(epoch)，实验被分为 7 个时间段，每个时间段中合并了 4 个 block 的数据，而每一个 block 中同时包括 4 种场景，共计 24 个布局，其出现的顺序完全随机。即被试无法对下一个场景(trial)的目标及目标位置进行预测和产生任何有效的提示。同时每种场景中的 6 种布局混合在一个 block 中均只出现一次。将 4 个 block 中的数据合并为一个时间段(epoch)，使得每个时间段(epoch)中每种场景条件各出现 24 次，以此增加统计效力，并且可以利用时间段(epoch)这一因素考察实验进程中可能出现的学习效应。

被试了解指导语后开始正式实验。实验流程图如图 1 所示。首先出现一个 800~1000 ms 的“十”字注视点，随后呈现 10 s 的搜索界面，在此期间要求被试搜索垂直轴对称的目标物图形，完成搜索后按空格键进行反应。被试按键后或未在 10 s 内反应则搜索界面消失，然后呈现反应界面，反应界面中原搜索阵列中所有图形全部消失，且用随机选择的字母占用原图形的位置，英文字母与图形之间没有联系。在反应界面中被试需用鼠标点击保留在搜索阵列中目标位置上的字母，以此判断被试的反应是否正确。反应界面没有时间限制，直到被试完成反应。为准确测量被试搜索到目标所需要的时间，实验将搜索界面呈现到被试按键之间的时间间隔作为反应时。

2.2 结果

对实验数据进行预处理，去除被试未在 10 s 内反应和反应错误的数据，并舍弃每个被试每种条件下高于或低于反应时平均数两个标准差的反应时数据。总体的平均正确率为 99%。图 3 显示了 4 种场景条件在 7 个时间段上平均反应时的变化趋势。4(场景条件：完全重复、拓扑重复、欧式重复、新异)×7(时间段：1~7)重复测量方差分析结果显示场景条件的主效应显著，$F(3,63) = 34.62$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.62$，完全重复场景、拓扑重复场景和欧式重复场景三种实验条件的反应时均显著快于新异场景的反应时；时间段的主效应显著，$F(6,126) = 51.73$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.71$，即被试随着时间的增加反应时显著下降，表明存在显著的学习效应；场景条件与时间段的交互作用显著，$F(18,378) = 3.30$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.14$，表明被试在完全重复、拓扑重复、欧式重复三种实验条件中通过习得场景中的背景信息均获得行为反应的便利，从而产生背景线索效应。

简单效应分析发现拓扑重复场景在第一个时间段上边缘显著快于新异场景($p = 0.077$)，而与其他场景反应时之间无显著差异($p > 0.1$)。而从第二个时间段开始，完全重复，拓扑重复和欧式重复三

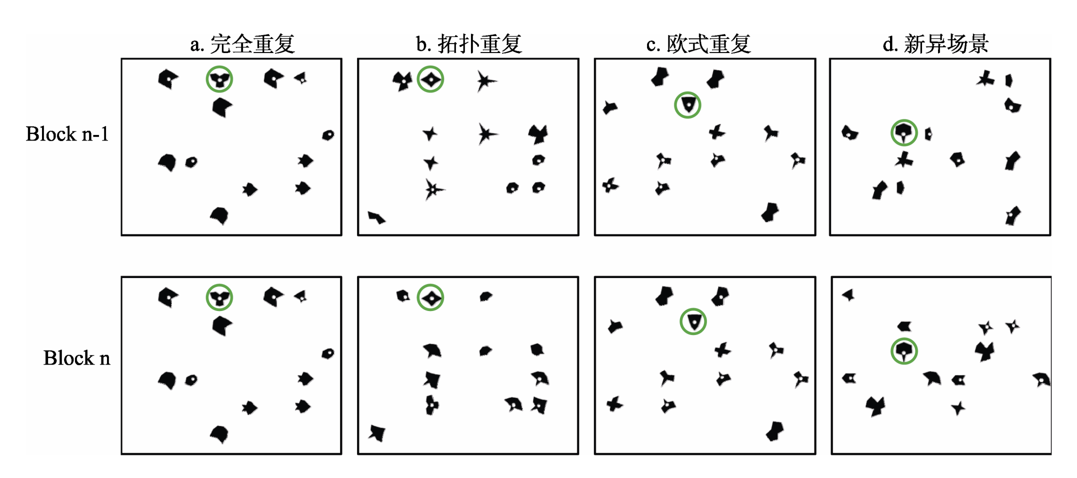


图 2 实验 1 四种场景条件在第(n−1)个 block 和第 n 个 block 的搜索阵列及其变化规则。图中绿色圆圈圈出的图形为目标物。绿色圆圈在正式实验中并不可见。

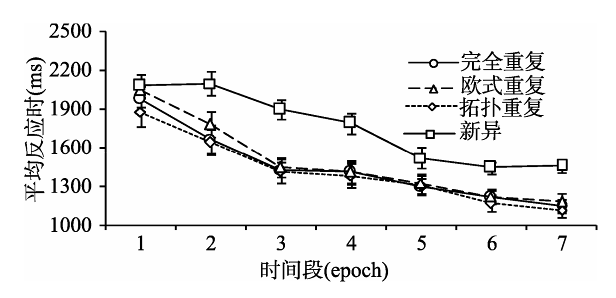


图 3　实验 1 中 4 种场景条件在时间段上平均反应时的变化趋势

种实验场景均与新异场景间均存在显著性差异(p < 0.001), 即三种重复场景均获得了反应时的便利, 且三种重复场景间不存在显著性差异(ps > 0.372)。

2.3　讨论

实验 1 结果显示拓扑重复场景和欧式重复场景的反应时均显著快于新异场景的反应时, 说明被试习得了场景中由空间布局和属性信息(拓扑性质或欧式性质)组成的背景信息, 并利用此背景信息促进对目标的搜索从而产生背景线索效应。实验 1 的结果发现, 在实验中后期(时间段 3~7)拓扑重复场景、欧式重复场景和完全重复场景的反应时处于同一水平。说明保持场景中的空间布局和刺激的欧式性质或拓扑性质不变即可产生与同时保持刺激的欧式性质和拓扑性质以及空间布局不变时等量的行为便利。Jiang 和 Chun (2001)以及 Olson 和 Chun (2001)在研究空间布局对背景线索效应的影响时得出类似结论, 他们发现当仅保持搜索界面中部分分心物的位置保持不变时同样可以获得保持整体分心物的位置不变时产生的背景线索效应。但该现象存在另一种假设——属性独立假设, 该假设认为空间信息是由空间布局组成而与刺激的颜色或形状无关(Jiang et al., 2000; Kunar et al., 2014; Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983)。根据属性独立假设, 三种重复场景所获得的背景线索效应只由空间布局产生, 而与属性信息无关, 由此导致三种重复场景产生相等的背景线索效应。

但在对实验结果的进一步分析发现, 被试在第一个时间段上拓扑重复场景的反应时便低于新异场景的反应时, 而欧式重复场景在第一个时间段上与新异场景之间不存在差异; 并且欧式重复场景在第二个时间段上才与新异场景产生显著差异, 但同时在第二个时间段上拓扑重复场景和完全重复场景与新异之间的差异分别为 453 ms 和 424 ms, 而欧式重复场景与新异之间的差异仅为 317 ms, 虽然拓扑重复场景与欧式重复场景之间不存在显著性差异, 但拓扑重复场景仍表现出更大的行为便利; 直到第三个时间段, 完全重复、拓扑重复、欧式重复三种场景与新异场景间的差异分别为 465 ms、476 ms、446 ms, 已无明显差异。三种重复场景在实验早期表现出来的差异无法利用属性独立假设进行解释。因为被试在三种重复场景中受到同等大小的空间布局的影响, 场景间仅存在刺激的属性信息与目标之间联结关系的差异, 因此不同场景在实验早期表现出的差异应由场景属性间的差异造成, 由此可知导致此差异的原因是重复的拓扑性质与目标位置的联结关系相对于重复的欧式性质与目标之间的联结关系更快的被习得。由此可证明, 当空间布局与属性同时对目标产生提示作用时, 属性信息对于获得背景线索效应同样发挥重要作用。

3　实验 2：物体拓扑性质稳定性对背景线索效应的影响

为了进一步验证空间布局与刺激属性同时对目标产生提示作用时刺激属性在背景线索效应中的作用, 同时为了探讨拓扑性质与目标之间联结关系和欧式性质与目标之间的联结关系稳定性之间的差异, 我们设计了实验 2 对此进行验证。实验 2 与实验 1 的流程基本一致, 不同之处在于将实验 2 分为学习阶段和测试阶段, 被试先完成学习阶段, 再完成测试阶段, 且两个实验阶段之间无明显区别。在学习阶段保持场景信息中目标物和分心物的位置及几何属性(拓扑性质和欧式性质)不变, 使被试在学习阶段习得场景信息; 而在测试阶段中分别改变分心物的拓扑性质或欧式性质, 以此进一步验证物体的几何属性是否对背景线索效应产生影响, 并探讨不同几何属性与目标之间的联结关系对背景线索效应影响的差异。

3.1　方法

3.1.1　被试

本研究中共有 22 名被试参与实验, 所有被试均为自愿且有偿参加实验的辽宁师范大学在读本科生, 其中男性 5 名, 女性 17 名, 年龄在 17~23 岁之间, 平均年龄为 21.09 岁。22 名被试的视力或矫正视力正常, 且均为右利手。所有被试均没有参加过类似实验并且不清楚实验目的。所有被试正确率均大于 94.6%, 平均正确率为 98.7%, 因此 22 名被试均作为有效数据进行统计分析。

3.1.2　实验材料与仪器

与实验 1 相同。

3.1.3 实验设计与程序

整个实验被试一共需要完成 28 个 block。前面 20 个 block 为学习阶段，后面 8 个 block 为测试阶段。为增加统计检验力，将 4 个 block 合并为一个时间段，共分为 7 个时间段。

学习阶段：共生成 24 种布局，每种布局中包含 1 个目标 11 个分心物。每种布局在每个 block 中只出现一次，即每个 block 进行 24 个 trial，并将 24 种布局随机分为三组，每组包含 8 种布局，分别为：重复场景 1，重复场景 2 和重复场景 3。整个学习阶段共有 20 个 block，即每种布局重复出现 20 次。且每种布局在 block 间重复时为完全重复，即保持场景中的空间布局以及刺激的属性均不变。为验证属性对背景线索效应的影响，以及对比不同属性之间的差异，在测试阶段仍保持重复场景中的空间布局不变，而对刺激的属性信息进行一定的变化。

测试阶段：测试阶段在学习阶段结束时立即开始，两者中间无特殊说明。测试阶段对学习阶段 3 组重复场景中刺激的属性进行相应的改变。将重复场景 1 作为完全重复场景，保留场景中的空间布局以及刺激的属性均不发生变化；重复场景 2 作为拓扑重复场景，保持刺激的空间布局和拓扑性质不变，而对分心物的欧式性质(图形形状)进行随机变化；重复场景 3 作为欧式重复场景，保持刺激空间布局和欧式性质(图形形状)不变，而对刺激的拓扑性质(有“洞”或无“洞”)进行随机变化；同时增设新异场景，即每个 trail 开始前，空间布局以及刺激的属性都随机生成。因此，每个 block 中每种场景各 8 个 trial，共 32 个 trial。

实验程序与实验 1 完全相同。

3.2 结果

在正确率上，学习阶段的平均正确率为 99%；测试阶段的平均正确率为 99%。对于反应时数据的分析，只保留被试正确反应的数据，舍弃每个被试两个标准差以外的反应时数据。学习阶段场景随时间变化的平均反应时数据如图 4 所示。对学习阶段进行 3(三组重复场景)×5(时间段)重复测量方差分析，结果表明：场景主效应不显著[$F(2,42) = 0.70$, $p > 0.1$]，在学习阶段中三种重复场景所使用的重复场景之间不存在显著差异，时间段上主效应显著[$F(4,84) = 95.60$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.82$]，三种重复场景的反应时均随时间段的增加而显著下降，表明被试对重复场景产生了明显的学习效应。实验场景与时间段之间差异不显著，$F(8,168) = 1.41$, $p > 0.1$。由此可知，被试习得了重复场景中的背景信息，且对三种场景的学习程度相同。

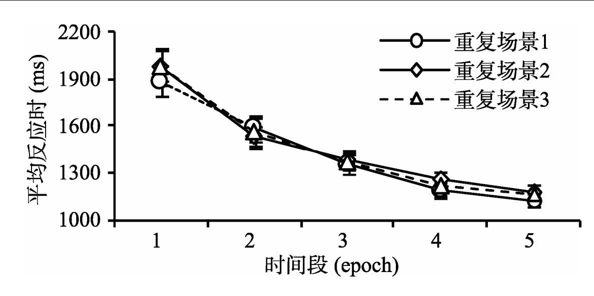


图 4 图中反映了学习阶段被试在重复场景 1~3 三种实验场景下反应时数据随时间的变化趋势

实验 2 重点探讨测试阶段分心物属性变化对反应时的影响，因此将测试阶段两个时间段的数据进行合并，同时分别将学习阶段三组重复场景条件最后两个时间段(第 4、第 5 两个时间段)的平均反应时进行合并作为场景完全习得后的学习成绩，使其数据量与测试阶段数据量相同以便进行比较(图 5)。学习阶段合并后数据与测试阶段结果进行 3(场景条件)×2(实验阶段)重复测量方差分析，场景条件的主效应显著[$F(2,86) = 35.06$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.45$]，不同场景的反应时存在显著差异；实验阶段的主效应显著[$F(1,43) = 42.37$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.50$]，表明在测试阶段对场景进行不同属性变化后场景的反应时显著增加；场景条件和实验阶段的交互作用显著[$F(2,86) = 34.65$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.45$]。进一步进行简单效应分析发现，拓扑重复场景条件在测试阶段反应时出现了显著上升(测试阶段:1286 ± 260 ms vs.学习阶段: 1216 ± 245 ms, $p < 0.05$)；欧式重复场景条件在测试阶段反应时出现了显著上升(测试阶段:1647 ± 512 ms vs.学习阶段: 1191 ± 254 ms, $p < 0.001$)；而完全重复场景在测试阶段和学习阶段没有出现反应时差异(测试阶段:1162 ± 255 ms vs.学习阶段: 1161 ± 211 ms, $p > 0.10$)。简单效应结果表明在测试阶段对刺激属性特征发生改变后(包括拓扑重复场景和欧式重复场景)，被试的反应显著变慢。

为了进一步比较在测试阶段属性特征变化后的三种重复场景与新异场景之间的差异，对测试阶段的 4 种场景条件进行单因素方差分析发现存在显著的场景主效应[$F(2,42) = 31.34$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.42$]，事后分析发现 4 种场景条件两两之间均存在显著性差异，完全重复场景反应时均显著低于其他场景($ps < 0.01$)，拓扑重复场景的反应时仍显著低于新异场景和欧式重复场景($ps < 0.05$)，但显著高于完全重复场景($p < 0.05$)；而欧式重复场景反应时

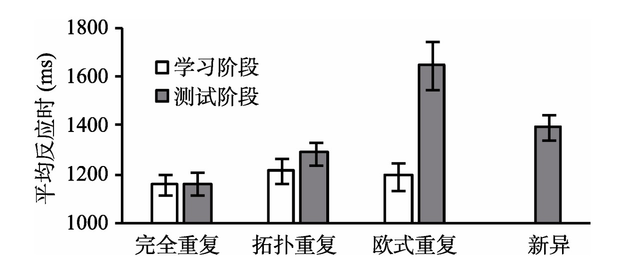


图 5　三种重复场景学习阶段最后两个 epoch 的平均反应时和测试阶段中 4 种场景的平均反应时。其中测试阶段完全重复场景对应学习阶段重复场景 1; 拓扑重复场景对应重复场景 2; 欧式重复场景对应重复场景 3。

却显著高于其他三种场景反应时($ps < 0.001$)。

3.3　讨论

实验 2 中学习阶段的结果显示被试在三种重复条件的反应均随时间而获得显著提升, 表现出被试对三种场景条件中由空间布局和刺激的属性信息(拓扑性质和欧式性质)组成的背景信息的显著的学习效应, 说明被试习得了三种重复场景中蕴含的背景信息。同时三种重复条件在学习阶段的反应时之间无显著性差异, 排除场景的特异性对实验操作的影响, 表明被试对三种重复场景蕴含的背景信息具有相同的学习程度。

在测试阶段中保持三种重复场景中的空间布局不变, 但对刺激的属性信息(拓扑性质和欧式性质)根据场景的设定进行相应的变化。如果实验 1 中三种重复场景的一致性结果是根据属性独立假设得出的, 即获得的背景线索效应仅由于空间布局的作用产生, 与刺激的属性特征无关, 那么实验 2 的测试阶段对刺激的属性进行改变时被试的反应时数据应不受影响, 与学习阶段数据保持一致。而实验 2 中的结果与上述假设不符, 即拓扑重复场景和欧式重复场景的反应时在测试阶段相对于学习阶段都显著上升, 即当保持空间布局信息不变, 而改变刺激的欧式性质或拓扑性质均使得被试的反应时显著增加, 即刺激的属性信息与目标之间的联结关系发生变化时, 对反应时产生巨大影响, 说明学习阶段场景中属性信息与目标之间的联结关系已被习得。结果还反映出当属性信息与空间布局同时对目标起提示作用时属性信息对目标的提示效应对背景线索效应的获得发挥重要作用。同时实验数据还表现出拓扑性质与欧式性质和目标之间的联结关系对背景线索效应的不同影响。在实验 2 的转变阶段, 分别破坏拓扑性质和欧式性质与目标位置之间的联结关系后, 两种条件都导致反应时数据的显著上升, 但两种条件对反应时的影响程度并不相同。破坏重复场景中刺激的欧式性质与目标位置之间的联结关系, 导致反应时显著上升, 但相对于新异场景仍可更快的将注意引导到目标位置, 产生背景线索效应; 而破坏重复场景中拓扑性质与目标位置之间的联结关系, 导致反应时的急剧升高, 使得背景线索效应消失甚至出现了反转, 即欧式重复场景的反应时显著高于新异场景的反应时。说明拓扑性质与目标位置之间的联结的稳定性对背景线索效应具有重要意义, 一旦拓扑性质与目标位置之间的联结被打破, 对目标的搜索会受到巨大的干扰, 从而降低反应时使其甚至高于新异场景的反应时。

实验 2 的结果证明了背景信息中所蕴含的拓扑信息在视知觉加工中具有重要作用, 但未能阐明转变阶段中拓扑信息缺失导致反应时显著上升的内在机制。我们认为反应时的上升有两种可能的解释。其一, 根据拓扑知觉理论, 物体的拓扑性质发生变化标志着新的知觉物体的产生。周可、卢舍那、胡思源和陈霖 (2005)利用 “irrelevant feature search” 任务要求被试报告出刺激阵列中图形是否完全相同, 结果发现, 当图形的拓扑性质发生变化时能够产生注意捕获现象。该研究结果支持了物体拓扑性质变化产生“新物体”的假设。因此当场景中分心物的拓扑性质发生改变, 使得来自分心物位置上“新物体”捕获注意干扰注意引导过程导致反应时上升; 在本实验中欧式重复场景分心物的拓扑性质发生变化时, 意味着分心物位置上产生了“新物体”, “新物体”可能对注意进行捕获从而干扰场景中规律信息对注意的引导, 减缓对目标的搜索过程, 导致反应时上升。其二, 由于背景信息中拓扑性质会与空间位置信息形成绑定关系共同引导注意指向目标位置, 而欧式重复场景中分心物拓扑性质的变化可能破坏了场景中拓扑性质与空间位置的绑定关系, 使被试产生了“背景困惑(contextual confusion)” (Kunar & Wolfe, 2011), 从而无法有效的利用场景中蕴含的空间布局规律对注意进行引导, 导致了反应时的上升。本研究试图通过实验 3 来探讨上述两种可能的解释。

实验 3 通过设置两个实验对实验 2 中破坏拓扑规律导致反应时上升的机制进行探讨。在学习阶段, 通过场景的重复出现使被试习得场景中的空间布局关系以及拓扑规律信息, 而测试阶段则有所不同。具体来说, 在实验 3a 中改变目标靶子的拓扑性质考察物体拓扑性质的变化是否产生“新物体”引

起注意捕获；在实验 3b 中呈现拓扑重复场景、拓扑变化场景和新异场景三种场景考察拓扑规律信息与空间布局之间存在绑定关系。

4 实验 3a："新物体"假设与背景线索效应加工机制的研究

4.1 方法

4.1.1 被试

实验 3a 中共有 22 名被试参与实验，所有被试均为自愿且有偿参加实验的辽宁师范大学在读本科生，其中男性 11 名，女性 11 名，年龄在 18~20 岁之间，平均年龄为 19.39 岁。22 名被试的视力或矫正视力正常，且均为右利手。所有被试均没有参加过类似实验并且不清楚实验目的。

4.1.2 实验材料与仪器

与实验 1 相同。

4.1.3 实验设计

在实验 3a 的学习阶段只有拓扑重复场景条件，即在 block 间场景的空间布局、分心物和目标的拓扑性质保持不变，而欧式几何性质进行随机变化。此阶段共包括 20 个 block，每个 block 中包含 12 个重复场景且顺序随机。学习阶段旨在使被试习得包含有拓扑信息和空间布局的场景规律。学习阶段结束后，将立即进入测试阶段且并不提示被试任何信息。测试阶段中将学习阶段的 12 个重复场景随机分为目标拓扑重复和目标拓扑变化两种条件，目标拓扑重复条件与学习阶段完全相同，而目标拓扑变化条件中目标的拓扑性质与其在学习阶段中进行一次变化(若学习阶段场景目标为"有洞"则测试阶段场景目标变为"无洞"；反之则由"无洞"变为"有洞")。测试阶段共包含 8 个 block，每个 block 中包含 12 个 trial。学习阶段共分为 5 个 epoch，测试阶段分为 2 个 epoch。

实验 3a 的流程与实验 1 相同。

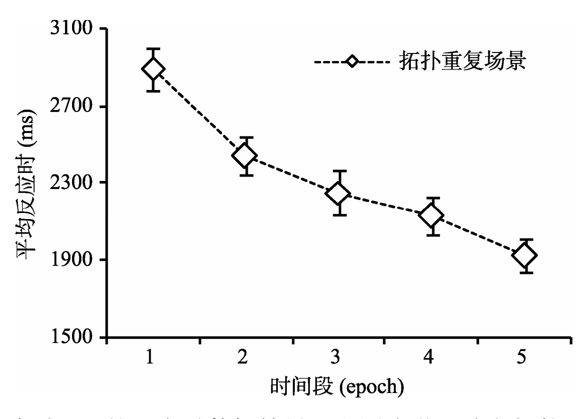
4.2 结果

总体的平均正确率为 98.7%。对实验数据进行预处理，去除被试未在 10 s 内反应和错误的数据，并舍弃每个被试每种条件下高于或低于反应时平均数 2 个标准差的反应时数据，共删除 6.46%的数据。反应时结果如图 6 所示。

学习阶段拓扑重复场景的反应时随时间呈现下降趋势，epoch1 和 epoch5 之间的反应时相差 973 ms (2892 ± 516 ms vs.1919 ± 419 ms)。对 5 个时间段的平均反应时数据进行单因素重复测量方差分析，结果发现 epoch 主效应显著，$F(4,84) = 34.98$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.63$，说明在学习阶段存在明显的学习和练习效应。测试阶段合并两个 epoch 的反应时数据，目标拓扑重复场景与目标拓扑变化场景平均反应时分别为 1828 ± 449 ms 和 1853 ± 365 ms，并对两种场景条件进行配对样本 T 检验，结果显示目标拓扑重复场景与目标拓扑变化场景两种场景条件的反应时之间无显著性差异[$t(21) = -0.39$, $p = 0.70$]，表明在被试习得场景规律信息后，目标拓扑性质的变化并未能捕获注意使被试产生更快的反应。

4.3 讨论

实验 3a 中在测试阶段保持场景的空间布局以及分心物的拓扑性质不变，而仅对目标的拓扑性质进行操纵。但结果发现目标拓扑变化场景与目标拓扑重复场景的反应时之间并未出现显著性差异，表明被试通过学习阶段习得场景规律性信息后，目标拓扑性质的改变未能引起注意捕获促进目标响应。因此，实验 3a 结果并不支持物体拓扑性质变化导致"新物体"产生捕获注意的假设。这与周可等人(2005)的研究结果并不一致，我们认为可能的原因



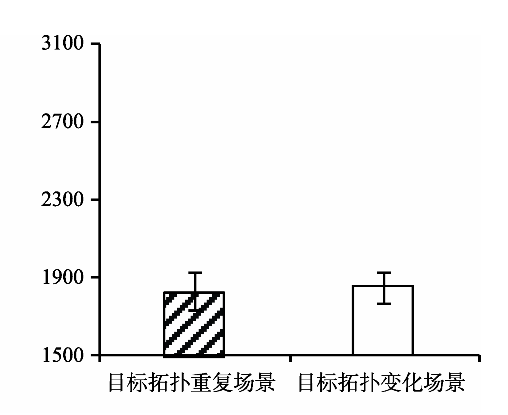


图 6 实验 3a 的反应时数据结果。左图为学习阶段拓扑重复场景反应时数据随时间变化的结果图，右图为测试阶段的目标拓扑重复场景和目标拓扑变化两种场景的反应时结果。

是，在本研究中采用的背景线索效应的实验范式基于内隐学习的长时记忆，场景的搜索主要是基于长时记忆中场景的规律性信息引导注意朝向目标位置，背景信息更多依赖空间布局信息和属性信息(Huang, 2006)，且场景中物体位置的变化并不能影响背景信息的再认加工(Conci & Müller, 2012)。而在周可等人 (2005)的研究中采用无关特征搜索范式，要求被试对快速呈现的场景中刺激的一致性进行响应。这种短时呈现的任务更多基于低水平的特征觉察，物体拓扑属性的变化更容易引起注意捕获，无需记忆参与。因此实验 3a 的结果不支持实验 2 中欧式重复场景反应时的上升是由于“新物体”而产生了注意捕获这一假设。

在实验 3a 中，目标拓扑重复场景和目标拓扑变化场景的整体空间布局以及分心物的拓扑规律均保持不变，两种场景条件下的反应时并无显著性差异，表明场景中的规律信息仍能提供有效线索引导注意指向目标位置，而实验 2 中分心物的拓扑性质发生变化则会干扰注意引导过程，导致反应时的显著上升。因此，刺激的拓扑性质与空间布局之间可能存在绑定关系，若拓扑规律与空间布局之间绑定关系遭到破坏，被试则会产生“背景困惑”，使其无法有效利用场景中的规律信息对注意进行引导，从而导致反应时的上升。实验 3b 中通过对拓扑规律和空间布局的分离探讨两者之间是否存在绑定关系。

5　实验 3b：物体拓扑性质与空间位置的绑定关系

5.1　方法

5.1.1　被试

本研究中共有 18 名被试参与实验，所有被试均为自愿且有偿参加实验的辽宁师范大学在读本科生，其中男性 11 名，女性 7 名，年龄在 19~26 岁之间，平均年龄为 20.78 岁。18 名被试的视力或矫正视力正常，且均为右利手。所有被试均没有参加过类似实验并且不清楚实验目的。

5.1.2　实验材料与仪器

与实验 1 相同。

5.1.3　实验设计与程序

实验分为学习阶段和测试阶段。在学习阶段共有 5 个 epoch，每个 epoch 中包含 4 个 block，每个 block 中包含拓扑重复场景的 12 个布局，每个布局在 block 间保持空间布局位置关系和刺激的拓扑性质不变，而对刺激的欧式几何性质进行随机变化。实验流程与实验 1 相同。学习阶段结束后进入测试阶段。将学习阶段拓扑重复场景的 12 种布局随机分为两部分，分别为拓扑重复场景和拓扑变化场景，两种场景条件各 6 种布局，同时加入新异场景的 6 种布局作为对照，即每个 block 中包含 18 个 trial。测试阶段共设置 12 个 block，每 4 个 block 合并为 1 个 epoch，共计 3 个 epoch。测试阶段的拓扑重复场景条件与学习阶段相同，保持其空间布局和刺激的拓扑性质在 block 间不变，而对刺激的欧式几何性质进行随机变化；拓扑变化场景条件仅保持刺激的空间布局不变，刺激的拓扑性质和欧式几何性质均在 block 间进行随机变化；新异场景在 block 间空间布局、刺激的拓扑性质和欧式几何性质均随机改变。

在进入测试阶段前告知被试实验有所变化，首先会呈现 800~1000 ms 随机时间的注视点，然后呈现线索界面，线索界面与刺激界面相似，除了目标刺激在线索界面阶段进行了随机角度的旋转，在此阶段要求被试对屏幕中每个刺激进行观察，2 s 后线索界面消失，随后呈现刺激界面，该阶段被试的任务仍为搜索垂直轴对称图形，屏幕呈现 1 s 消失，所有刺激位置由随机选择的字母所替代，要求被试用鼠标点击垂直轴对称图形位置上的字母。实验流程如图 7 所示。

5.2　结果

实验 3b 的结果按照学习阶段和测试阶段两个阶段对数据进行分析。在学习阶段中，被试的平均正确率等于 97.9%。对于反应时数据的分析，只保留被试正确反应的数据。学习阶段的反应时数据如图 8 所示。

对反应时数据进行单因素重复测量方差分析，结果发现 epoch 的主效应显著，$F(4,68) = 16.69$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.495$，说明在 epoch 上存在明显的学习和练习效应，随着时间的进行被试的反应时逐渐减小。

在测试阶段，将测试阶段 3 个 epoch 的反应时数据进行合并对三种场景条件下的反应时数据进行单因素方差分析，结果如图 9 所示。结果发现，场景条件主效应显著，$F(2,34) = 7.293$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.300$。进一步的事后检验发现，拓扑重复场景的正确率显著高于新异场景和拓扑变化场景的正确率(拓扑重复场景：0.69 vs 新异场景：0.62, $p = 0.004$；拓扑重复场景：0.69 vs 拓扑变化场景：0.64, $p = 0.048$)，而拓扑变化场景和新异场景正确率之间无显著性差异(0.64 vs 0.62, $p > 0.05$)。

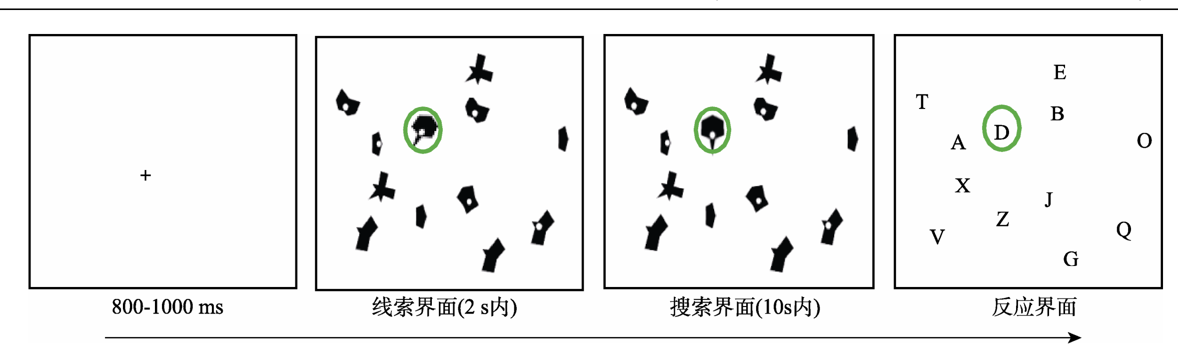


图 7 实验 3b 流程图。线索界面只需要被试对刺激进行观察，而当呈现搜索界面时，要求被试搜索垂直轴对称的目标(即图中绿色圆圈包围的图形，绿色圆圈在实验中并不可见)，搜索到目标后按空格键进行反应，搜索界面被反应界面所替代，被试需用鼠标点击原搜索界面中目标出现位置上的字母(即图中绿色圆圈所包围的字母“D”，绿色圆圈在实验中并不可见)。

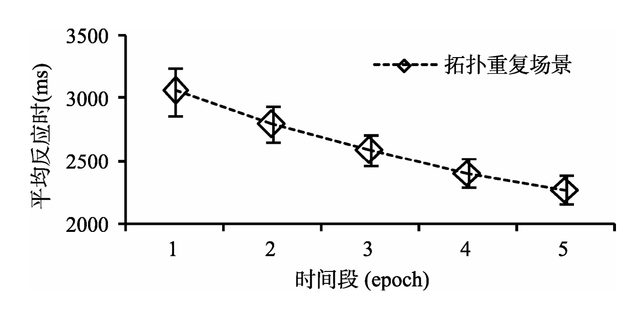


图 8 学习阶段拓扑重复场景的平均反应时。误差线代表平均值的标准误。

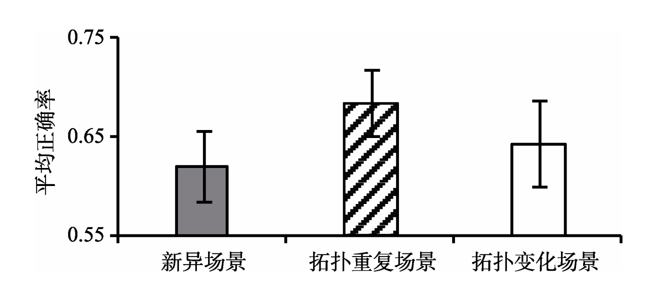


图 9 实验 3b 测试阶段拓扑重复场景、拓扑变化场景以及新异场景在测试阶段的平均正确率。误差线代表平均值的标准误。

5.3 讨论

实验 3b 中，被试在学习阶段习得重复场景中所蕴含的拓扑重复规律以及空间布局关系，在 epoch 上表现出显著的场景学习效应。测试阶段将学习阶段的场景随机分为拓扑重复场景和拓扑变化场景，通过拓扑规律和空间布局的分离考察拓扑规律与空间布局之间是否存在稳定的绑定关系。结果发现被试习得场景规律信息后，保持空间布局和拓扑规律信息不变时正确率显著高于新异场景，表现出明显的背景线索效应；并且拓扑重复场景的正确率显著高于拓扑变化场景的正确率，表明被试在习得蕴含有空间布局关系和拓扑规律信息的场景后，线索界面对空间布局信息和拓扑规律的预曝光可以有效的引导注意指向目标位置，在正确率指标上体现出背景线索效应。而在拓扑变化场景条件下移除了场景规律中的拓扑规律信息导致正确率显著小于拓扑重复场景的正确率，并且与新异场景正确率之间无显著性差异，反映出当场景信息中的拓扑规律信息变化后则不能有效的引导注意指向目标位置，说明拓扑规律与空间布局信息之间存在绑定关系。实验 3b 结果证明了在实验 2 测试阶段欧式重复场景中拓扑规律信息的移除致使反应时显著上升是因为被试在习得了场景中空间布局与拓扑规律信息的绑定关系后，拓扑规律性信息被移除从而导致空间布局与拓扑规律信息之间绑定关系的破坏，使得被试产生了“背景困惑”，导致反应时的显著上升。

6 总讨论

本研究通过采用视觉搜索任务探讨了刺激的几何属性在背景线索效应中的加工机制。实验 1 中，通过背景线索效应的经典研究范式发现拓扑重复场景和欧式重复场景的反应时均显著高于新异场景的反应时，说明刺激的拓扑性质与目标之间的联结关系以及欧式性质与目标之间的联结关系均可被习得，从而促进对目标的搜索，产生背景线索效应；实验 2 中，在被试习得了包含对目标均具有预测作用的空间布局、拓扑性质、欧式性质组成的背景信息后，分别对背景中的拓扑性质或欧式性质进行随机变化，以此破坏刺激的拓扑性质或欧式性质与目标之间的联结关系但保留了空间布局以及欧式性质或拓扑性质与目标之间的联结关系。结果表明破坏拓扑性质或欧式性质与目标之间的联结关系时，被试的反应均会明显变慢，说明刺激的拓扑性质或欧式性质与目标之间的联结关系对于背景

线索效应的产生具有重要意义, 也就是说, 当刺激的属性与空间布局同时对目标产生预测作用时, 属性信息并不是无关因素, 同时属性发挥着重要作用(Jiang & Song, 2005)。实验 3 中通过两个子实验, 在被试习得拓扑重复场景中空间布局和拓扑属性规律信息后分别对目标的拓扑性质和所有刺激的拓扑性质进行操纵, 实验 3a 中目标拓扑变化与目标拓扑重复两种场景条件的反应时数据之间无显著性差异, 而实验 3b 中拓扑变化场景与拓扑重复场景的正确率之间存在显著性差异, 同时拓扑变化场景与新异场景的正确率之间无差异, 实验 3 的研究结果排除了刺激拓扑性质的变化产生注意捕获, 从而干扰注意引导过程的可能, 同时研究结果支持拓扑规律信息与空间布局之间存在绑定关系的假设, 认为通过拓扑重复场景的重复出现, 拓扑信息与空间位置之间形成了绑定关系, 当拓扑信息发生变化时, 破坏了这种绑定关系, 使得被试产生“背景困惑”的现象, 导致实验 2 中欧式重复场景反应时的显著上升。本研究与前人研究的结论一致(van Asselen et al., 2011; Chun & Jiang, 1999; Endo & Takeda, 2004), 表明刺激的属性信息与目标之间的联结关系能够被习得并能促进对目标的搜索, 从而产生行为反应的便利, 出现背景线索效应, 并且本研究发现物体拓扑性质与空间布局之间存在绑定关系, 同时本研究结果对注意引导理论也提供了一定的证据支撑。

研究发现在实验 1 的后期(从 epoch3 开始), 拓扑重复场景和欧式重复场景表现出相同大小的搜索便利, 且与完全重复条件所获得搜索便利大小一致, 即拓扑重复场景和欧式重复场景获得与完全重复场景等量的背景线索效应。结果表明获得完整的背景线索效应并不需要保持场景中所有信息不变, 当部分信息(拓扑性质或欧式性质与目标之间的联结关系和空间布局关系)保持不变时被试便能有效利用该信息获得最优的场景搜索便利。研究结果反映出视觉注意强大的选择性学习机制——视觉学习系统可从大量的视觉信息中选择规律性信息(拓扑性质或欧式性质与目标之间的联结关系和空间布局信息), 并将之作为提示线索引导注意更快的指向目标位置, 从而获得行为反应的便利。Jiang 和 Chun (2001)以及 Olson 和 Chun (2001)在关于背景线索效应空间布局作用的研究中也得到相似结果。

尽管部分有效信息便能获得最大程度上的背景信息的便利, 但本研究同时发现视知觉对于拓扑性质与目标之间稳定的联结关系相对于欧式性质与目标之间的联结关系更为敏感。实验 1 使用背景线索效应的经典研究范式发现, 在实验的早期阶段(前两个时间段上), 拓扑重复条件中对目标的搜索反应明显快于欧式重复条件中的目标搜索反应, 拓扑重复条件会更早的表现出背景信息所带来的行为便利, 说明视知觉可更快的觉察并习得拓扑性质与目标之间稳定的联结关系, 换言之, 视知觉对拓扑性质与目标之间稳定的联结关系更为敏感。陈霖的拓扑知觉理论也存在类似观点, 认为视知觉对刺激的拓扑性质差异相对于其他几何性质差异更加敏感(Chen, 1982)。此结果同样支持上述结论, 属性信息在背景线索效应中具有重要作用。

拓扑性质与目标之间的联结关系和欧式性质与目标之间的联结关系除了在视知觉敏感性上存在差异外, 两种联结关系在背景线索效应中还存在其他加工机制上的差异。在实验 2 的学习阶段, 保持由布局信息、刺激的属性(拓扑性质、欧式性质)组成的背景信息不变, 结果显示在学习阶段随着时间的推移, 被试的反应速度均显著提升, 且在三种场景中的反应始终保持一致。说明被试习得了场景中蕴含的背景信息, 且对三种场景的学习程度一致。学习阶段结束后, 分别破坏拓扑重复场景和欧式重复场景中的欧式性质和拓扑性质与目标之间的联结关系。当空间布局与属性信息同时对目标具有提示作用时, 若仅受空间布局的作用而与属性信息无关, 则属性与目标之间联结关系的改变不会对反应时产生干扰; 若反应时不受影响, 则说明属性与目标之间的联结关系未被习得。实验结果支持第二种假设, 两种联结关系的改变均导致被试的反应相对于学习阶段的反应明显变慢, 表明蕴含于背景信息中的属性与目标之间的联结关系被习得。同时, 实验 2 还发现拓扑性质与目标之间的联结关系以及欧式性质与目标之间的联结关系的变化会对注意引导加工产生不同程度的影响。在拓扑重复条件中欧式性质与目标之间的联结关系被打破, 尽管导致被试的反应变慢, 但相较于新异场景而言, 场景中重复的拓扑性质与目标之间的稳定的联结关系仍能更快的将注意引导至目标位置从而获得背景线索效应; 而欧式重复条件破坏了场景中拓扑性质与目标之间的联结关系导致行为反应出现反转现象, 即在欧式重复条件中对目标的搜索时间显著高于在新异条件中对目标的搜索时间。说明拓扑性质与目标之间的联结关系一旦形成, 其稳定性对场景具

有更重要的意义，当拓扑性质与目标之间的联结被破坏时，目标的搜索会受到更大的干扰。

实验 3 对该干扰产生的内在机制进行了深入探讨。通过两个子实验设计排除了背景信息习得后场景中物体拓扑性质的变化产生了注意捕获干扰注意引导过程的可能，并验证了当场景中拓扑规律缺失时仅利用场景中的空间布局信息无法进行有效的注意引导，反映出拓扑规律与空间布局之间绑定关系的存在。多种规律条件下的背景线索效应是否可能是物体的属性规律与空间布局之间一种叠加的结果。我们认为该假设成立可能性较小，首先如果物体的属性规律与空间布局之间对背景线索效应的影响是一种叠加作用的话，那么拓扑变化场景中虽然刺激的拓扑规律发生了改变但被试应仍能利用场景中的空间布局引导注意指向目标位置，其正确率应高于新异场景的正确率，这与实验结果并不相符。同时 Huang (2006)在关于背景线索效应中颜色与空间布局之间关系的研究中也发现物体的颜色属性与空间布局之间存在稳定的绑定关系。因此物体的拓扑规律与空间布局之间不是简单叠加的结果，而是一种稳定存在的绑定关系。

在以往研究结果的基础上，本研究进一步揭示了刺激的属性信息可作为一种有效的背景线索信息来引导注意更快的指向目标。同时，背景线索效应作为一种强大、稳定的学习机制，当视觉场景中存在可对目标产生预测的多种背景线索信息并保持不变时，这些与目标产生联结的背景信息均会被习得，并且视知觉对场景中刺激的不变的拓扑规律相对于不变的欧式规律更加敏感。拓扑规律的稳定性对背景线索效应的产生具有重要意义，场景中拓扑性质的规律能够更快的被知觉加工并能影响人的行为。当拓扑性质的规律性被习得后，一旦拓扑性质的规律性被打破而不可利用时，会对人们利用过往经验促进当前行为的过程产生巨大干扰。但目前的发现仅局限于行为上的差异，未能通过脑成像研究探究其内在的生理机制。而以往的脑成像研究已发现，前颞叶在拓扑不变性知觉中起着重要的作用。Zhuo (2003)发现颞回激活程度与按照 Klevin Erlange 纲领所划分的几何形状的层次关系相符，即具有拓扑差异的颞回激活程度最高，而只具有欧氏几何差异的颞回激活程度最低。此外，在有关“洞”和“无洞”之间差异的 ERP 研究发现，“无洞”相对于“洞”诱发出更大的 N1 成分，说明对“无洞”的知觉需要更多的注意资源(张俊俊, 2009)。并且还有研究发现拓扑性质和欧式性质在视觉诱发成分 P1 幅度上也表现出差异(张俊俊等, 2009)。基于前人的研究，将来可通过 ERP 中 N1、P1 成分上的波幅差异和利用 fMRI 技术以颞回激活程度为指标对拓扑性质与欧式性质在背景线索效应中的差异进行进一步的验证、探索，为拓扑性质和欧式性质在背景线索效应中的差异提供生理机制上的证据，并充实和完善拓扑性质理论。

本研究发现人类可以利用由刺激的拓扑性质或欧式性质所组成的背景信息引导注意更快的指向目标，并且在比较拓扑性质与经典的欧式性质在背景线索效应中加工机制上的差异时发现，在视知觉加工、组织过程中具有优势效应的拓扑性质对背景线索效应的产生和保持具有更为重要的意义。而人类除了利用先前经验中的背景信息来引导注意更快的指向目标位置的能力外，还能利用格式塔心理学中所提出的知觉组织原则(如邻近性原则、相似性原则)对刺激进行知觉组织，以此促进搜索行为(Eimer, Kiss, & Cheung, 2010; Wolfe, 1994)。因为具有一定组织性原则的刺激能被更容易的组织为一个结构单元，通过组织减少了完成搜索任务所需加工、搜索的结构单元个数。例如，Schubö, Akyürek, Lin 和 Vallines (2011)等发现屏幕中同质性(相似性)刺激越多，组织性原则发挥的越有效并且对嵌入分心物中的目标物的辨认越容易，即刺激的高同质性(相似性)可促进视觉搜索的行为表现。而目前为止，格式塔原则对背景线索效应的影响仅引起少量的关注。Feldmann-Wüstefeld 和 Schubö (2014)通过实验证明了刺激的同质性对背景线索效应产生影响如同对视觉搜索任务的影响，他们研究了刺激的同质性原则对经典背景线索效应的影响，也就是说，是通过刺激的属性信息对经典背景线索效应(搜索嵌入多个旋转的“L”中的左右朝向的“T”)产生作用，而经典背景线索效应中的空间布局是一个更为重要的线索信息，因此格式塔心理学所提出知觉组织原则中的与空间位置相关的邻近性、对称性等原则对背景线索效应的影响是未来值得进一步探究的问题。

7 结论

本实验研究表明:拓扑性质可与欧式性质一样产生背景线索效应；当刺激的属性特征与空间布局同时对目标具有提示作用时，并不会仅有空间布局发挥作用，属性信息也发挥着重要的提示作用。拓

扑规律与欧式规律在背景线索效应中具有不同的加工机制；拓扑性质与目标之间稳定的联结关系相对于欧式性质与目标之间稳定的联结关系能够被更快的觉察并被利用从而促进行为反应，更早的表现出场景规律信息带来的行为便利；在利用过去经验来指导当前行为时，拓扑规律的稳定性相对于欧式规律的稳定性更具重要意义，同时研究结果也为注意引导理论提供一定的证据支持。

参　考　文　献

Beesley, T., & Shanks, D. R. (2012). Investigating cue competition in contextual cuing of visual search. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 38*, 709–725.

Brooks, D., Dai, J., & Sheinberg, D. (2011). Scene-based contextual cueing in the Rhesus Macaque. *Journal of Vision, 11*, 1329–1329.

Chen, L. (1982). Topological structure in visual perception. *Science, 218*, 699–700.

Chen, L. (1986). Topological perception—A possible dark cloud over computational theory. In X. S. Qian (Ed.), *Essays on cognitive sciences* (pp. 250–301). Shanghai: People's Press of Shanghai.

[陈霖. (1986). *拓扑性质检测——计算理论的一朵可能的乌云*(pp. 250–301). 上海：上海人民出版社]

Chen, L. (2005). The topological approach to perceptual organization. *Visual Cognition, 12*, 553–637.

Chun, M. M., & Jiang, Y. H. (1998). Contextual cueing: implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology, 36*, 28–71.

Chun, M. M., & Jiang, Y. H. (1999). Top-down attentional guidance based on implicit learning of visual covariation. *Psychological Science, 10*, 360–365.

Chun, M. M., & Jiang, Y. H. (2003). Implicit, long-term spatial contextual memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 29*, 224– 234.

Conci, M., & von Mühlenen, A. (2011). Limitations of perceptual segmentation on contextual cueing in visual search. *Visual Cognition, 19*, 203–233.

Conci, M., & Müller, H. J. (2012). Contextual learning of multiple target locations in visual search. *Visual Cognition, 20*, 746–770.

Eimer, M., Kiss, M., & Cheung, T. (2010). Priming of pop-out modulates attentional target selection in visual search: behavioural and electrophysiological evidence. *Vision Research, 50*, 1353–1361.

Endo, N., & Takeda, Y. (2004). Selective learning of spatial configuration and object identity in visual search. *Perception & Psychophysics, 66*, 293–302.

Endo, N., & Takeda, Y. (2005). Use of spatial context is restricted by relative position in implicit learning. *Psychonomic Bulletin & Review, 12*, 880–885.

Feldmann-Wüstefeld, T., & Schubö, A. (2014). Stimulus homogeneity enhances implicit learning: Evidence from contextual cueing. *Vision Research, 97*, 108–116.

Goujon, A., Brockmole, J. R., & Ehinger, K. A. (2012). How visual and semantic information influence learning in familiar contexts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 38*, 1315–1327.

Goujon, A., Didierjean, A., & Thorpe, S. (2015). Investigating implicit statistical learning mechanisms through contextual cueing. *Trends in Cognitive Sciences, 19*, 524–533.

Goujon, A., & Fagot, J. (2013). Learning of spatial statistics in nonhuman primates: Contextual cueing in baboons (*Papio papio*). *Behavioural Brain Research, 247*, 101–109.

Hellige, J. B., & Sergent, J. (1986). Role of task factors in visual field asymmetries. *Brain and Cognition, 5*, 200–222.

Huang, L. Q. (2006). Contextual cuing based on spatial arrangement of color. *Perception & Psychophysics, 68*, 792–799.

Jiang, Y. H., & Chun, M. M. (2001). Selective attention modulates implicit learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A Human Experimental Psychology, 54*, 1105–1124.

Jiang, Y. H., Olson, I. R., & Chun, M. M. (2000). Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 26*, 683–702.

Jiang, Y. H., & Song, J.-H. (2005). Hyperspecificity in visual implicit learning: Learning of spatial layout is contingent on item identity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*, 1439–1448.

Jiang, Y. H., Song, J.-H., & Rigas, A. (2005). High-capacity spatial contextual memory. *Psychonomic Bulletin & Review, 12*, 524–529.

Jiménez, L., & Vázquez, G. A. (2011). Implicit sequence learning and contextual cueing do not compete for central cognitive resources. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 37*, 222–235.

Kawahara, J.-I. (2007). Auditory-visual contextual cuing effect. *Perception & Psychophysics, 69*, 1399–1408.

Kunar, M. A., John, R., & Sweetman, H. (2014). A configural dominant account of contextual cueing: Configural cues are stronger than colour cues. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*, 1366–1382.

Kunar, M. A., & Wolfe, J. M. (2011). Target absent trials in configural contextual cuing. *Attention, Perception, & Psychophysics, 73*, 2077–2091.

Makovski, T. (2016). What is the context of contextual cueing? *Psychonomic Bulletin & Review, 23*, 1982–1988.

Manginelli, A. A., Langer, N., Klose, D., & Pollmann, S. (2013). Contextual cueing under working memory load: Selective interference of visuospatial load with expression of learning. *Attention, Perception, & Psychophysics, 75*, 1103–1117.

Merrill, E. C., Conners, F. A., Roskos, B., Klinger, M. R., & Klinger, L. G. (2013). Contextual cueing effects across the lifespan. *The Journal of Genetic Psychology, 174*, 387–402.

Merrill, E. C., Conners, F. A., Yang, Y. Y., & Weathington, D. (2014). The acquisition of contextual cueing effects by persons with and without intellectual disability. *Research in Developmental Disabilities, 35*, 2341–2351.

Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences, 6*, 414–417.

Olson, I. R., & Chun, M. M. (2001). Temporal contextual cuing of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27*, 1299–1313.

Olson, I. R., & Chun, M. M. (2002). Perceptual constraints on implicit learning of spatial context. *Visual Cognition, 9*, 273–302.

Rubin, J. M., & Kanwisher, N. (1985). Topological perception: Holes in an experiment. *Perception & Psychophysics, 37*, 179–180.

Schubö, A., Akyürek, E. G., Lin, E.-J., & Vallines, I. (2011). Cortical mechanisms of visual context processing in

singleton search. *Neuroscience Letters, 502*, 46–51.
Travis, S. L., Mattingley, J. B., & Dux, P. E. (2013). On the role of working memory in spatial contextual cueing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 39*, 208–219.
Tseng, Y.-C., & Lleras, A. (2013). Rewarding context accelerates implicit guidance in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics, 75*, 287–298.
van Asselen, M., Sampaio, J., Pina, A., & Castelo-Branco, M. (2011). Object based implicit contextual learning: A study of eye movements. *Attention Perception & Psychophysics, 73*, 297–302.
Wasserman, E. A., Teng, Y. J., & Castro, L. (2014). Pigeons exhibit contextual cueing to both simple and complex backgrounds. *Behavioural Processes, 104*, 44–52.
Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review, 1*, 202–238.
Zellin, M., von Mühlenen, A., Müller, H. J., & Conci, M. (2014). Long-term adaptation to change in implicit contextual learning. *Psychonomic Bulletin & Review, 21*, 1073–1079.
Zhang, J. J. (2009). *Study on the visual perception of 'Hole' and 'No-hole' figures* (Unpublished doctorial dissertation). *Xiamen University.*
[张俊俊. (2009). 对"洞"和"非洞"刺激的视知觉研究(博士学位论文). *厦门大学*.]
Zhang, J. J., Zhu, W. N., Ding, X. J., Zhou, C. L., Hu, X. T., & Ma, Y. Y. (2009). Configural processing of different topologically structured figures: An ERP Study. *Science in China Series C: Life Sciences,52*, 1198–1204
[张俊俊, 诸薇娜, 丁晓君, 周昌乐, 胡新天, 马原野. (2009). 拓扑差异物体的构型处理: 一项脑电研究. *中国科学:生命科学, 39*, 898–903.]
Zhou, K., Lu, S. N., Hu, S. Y., & Chen, L. (2005). "New object" based on topological theory. *Symposium on brain and Cognitive Sciences*. Zhuhai: Biophysical Society of China.
[周可, 卢舍那, 胡思源, 陈霖. (2005). "新物体"的拓扑理论假设. *第一届全国脑与认知科学学术研讨会论文集*. 珠海: 中国生物物理学会.]
Zhuo, Y., Zhuo, T. G., Rao, H. Y., Wang, J. J., Meng, M., Chen, Z., … Chen, L. (2003). Contributions of the visual ventral pathway to long-range apparent motion. *Science, 299*, 417–420.

The mechanisms of contextual cuing effect based on objects' topological properties

MA Jie[1]; DOU Haoran[1]; ZHUANG Qian[1]; YIN Dongxue[1]; LEI Ming[1]; GAO Chao[2];
ZHANG Yin[1]; LIU Qiang[1]; ZHAO Guang[1]

([1] *Brain and cognitive neuroscience research center, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)
([2] *Institute of Education, Jianghan University, Wuhan* 430056, *China*)

Abstract

When the associations among objects in the scene tend to remain unchanged as the time progressed, the repeated associations would guide attention to the target's location more efficiently compared with the new context that changed across blocks, which is known as the contextual cuing effect. Though the process of the spatial layout has been widely interpreted, some studies that has investigated the role of object's identities in contextual cuing effect were limited to the Euclidean property. The topological property, one of the most important objects' identities referring to visual perception, was largely neglected. In this study, we aimed to manipulate configurations with topological property, Euclidean property, combined property as well as random configurations to test whether the predictability of the target associated with the topological property has the superiority relative to the Euclidean property.

In Experiment one, a classic contextual cuing task was performed. Four types of configurations were randomly presented in the experiment. Experiment two was divided into two sessions, the studying session and the testing session. In the studying session, 24 configurations were repeated throughout the entire session, which was used to develop the learning effect. In the testing session, the previous 24 configurations were transformed into three groups, the topological repeated configurations, the Euclidean repeated configurations and the combined configurations. Meanwhile, eight random configurations were introduced as the baseline to measure the contextual cuing effect. In Experiment three, after the regularities of contexts had been learned, the topological properties of the target (experiment 3a) or distractors (experiment 3b) had been changed respectively. We explore whether topological changed configurations could capture attention by generating "new object" or lift the bound between topological regularities of the context and corresponding spatial layouts.

In Experiment one, the main effects and the interaction between configuration and epoch were significant,

indicating that all the three different repeated configurations obtained a remarkable contextual cuing effect. Further analysis showed that the reaction time in topological repeated configuration was faster than that in the random configuration in the 1st epoch, while the Euclidean repeated configuration had faster RTs than the random configuration from the 2nd epoch. In Experiment two, only the main effect of epoch was significant for the studying session, revealing an obvious learning effect. After configurations transformed, compared to the matched configurations in the learning session, RTs in both the topological repeated configuration and the Euclidean repeated configuration were significantly increased. Furthermore, the RTs of the topological repeated configuration were faster than the random configuration, while the RTs of the Euclidean repeated configuration were slower than the random configuration. The results demonstrated that the object's property played an important role in contextual cuing effect, and the stability of topological-target associations made a greater contribution than Euclidean-target associations did in maintaining the contextual cuing effect. In Experiment three, both sub-experiments showed a significant learning effect in the studying session. For the testing session of Experiment 3a, the reaction time was not affected when the topological property of the target has changed. However, the accuracy of the topological changed configuration was significantly decreased than the topological repeated configuration of the Experiment 3b. Thus, Experiment three clarified the increased reaction time in the Euclidean repeated configuration, suggesting that contextual regularities of topological properties were bound to corresponding spatial layout. When topological regularities distorted, the "contextual confusion" came forth and made participants unable to utilize the context to guide attention to the target location effectively.

For the first time, we have verified that the associations between objects' topological property and the target could produce behavioral benefit than the Euclidean associations do. The association could probably be regarded as an informative cue to guide attention to the target location more efficiently. Nevertheless, the predictability of topological configuration takes priorities over Euclidean configuration during the learning course, and the association between objects' topological property and the target has a more important significance in maintaining the contextual cuing effect.

Key words　contextual cuing effect; topological property; Euclidean property; topological perception theory